

УДК 621.787

## ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ СОВМЕЩЕННОГО МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАКАТЫВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

канд. техн. наук, доц. А.М. ДОВГАЛЕВ; И.А. ТАРАДЕЙКО;  
канд. техн. наук, доц. Н.А. ЛЕВАНОВИЧ  
(Белорусско-Российский университет, Могилев)

*Представлены усовершенствованные конструкции инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания внутренних и наружных цилиндрических поверхностей деталей машин на станках сверлильно-фрезерно-расточной и токарной групп, содержащих компактную магнитную систему на основе постоянных цилиндрических магнитов. Предложены конструкции инструментов, позволяющие исключить шаржирование поверхности деталей металлическими включениями, осуществлять (по мере необходимости) очистку кольцевой камеры и деформирующих шаров от ферромагнитных частиц, синхронизировать скорости вращения деформирующих шаров и магнитной системы, минимизировать износ рабочих поверхностей кольцевой камеры. В результате усовершенствования инструментов повышаются качественные характеристики обработанной поверхности, эффективность процесса упрочнения, увеличивается срок их эксплуатации.*

**Ключевые слова:** совмещенное накатывание, магнитная система, деформирующие шары, упрочнение, вращающееся магнитное поле, модификация поверхностного слоя.

**Введение.** В настоящее время разработано достаточно большое количество методов поверхностного упрочнения деталей машин. В машиностроении наиболее широкое применение находят методы поверхностно пластического деформирования, отличающиеся универсальностью, простотой реализации, высокой производительностью процесса упрочнения и имеющие низкую себестоимость [1]. Важным направлением развития отделочно-упрочняющей обработки является усовершенствование существующих, а также создание инновационных способов поверхностного пластического деформирования, основанных на комплексном энергетическом воздействии на поверхностный слой упрочняемых деталей. К числу перспективных относится способ совмещенной обработки поверхностей ферромагнитных деталей концентрированным потоком энергии вращающегося магнитного поля и магнитно-динамическим накатыванием (далее – совмещенное магнитно-динамическое накатывание (СМДН)), при котором процессы магнитной упрочняющей обработки и динамического поверхностного пластического деформирования совмещены во времени [2; 3]. Комплексное магнитно-силовое воздействие на упрочняемую ферромагнитную деталь позволяет осуществить модификацию ее поверхностного слоя и получить поверхность с высокими качественными и эксплуатационными свойствами [4].

Анализ применения в производственных условиях существующих конструкций инструментов для СМДН цилиндрических поверхностей тел вращения показывает, что существует необходимость их усовершенствования с целью повышения следующих технологических параметров процесса СМДН:

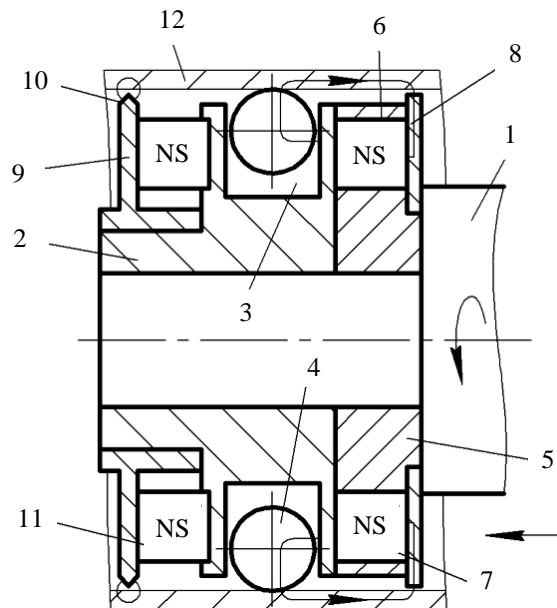
- качества упрочняющей обработки (за счет исключения шаржирования поверхности детали инородными ферромагнитными частицами);
- эффективности процесса упрочнения (за счет исключения «проскальзывания» деформирующих шаров относительно вращающейся магнитной системы);
- долговечности инструмента (за счет уменьшения износа рабочих поверхностей кольцевой камеры, предназначенной для размещения деформирующих шаров).

**Постановка задачи.** В связи с отмеченным актуальной является разработка прогрессивных конструкций инструментов для СМДН цилиндрических поверхностей, позволяющих обеспечить повышение качественных характеристик обработки и эффективности процесса упрочнения, увеличение их долговечности.

На рисунке 1 изображен инструмент для СМДН внутренней цилиндрической поверхности ферромагнитного цилиндра, позволяющий исключить попадание инородных ферромагнитных частиц в зону деформирования и тем самым повысить качество обработки за счет отсутствия шаржирования упрочненной поверхности инородными металлическими включениями.

Инструмент состоит из следующих элементов: оправки 1; корпуса 2; кольцевой камеры 3; деформирующих шаров 4; магнитной системы, включающей диск 5 с аксиальными отверстиями 6, цилиндрические постоянные магниты 7, магнитопроводную шайбу 8; устройства улавливания ферромагнитных частиц, выполненного в виде концентратора 9 с кольцевой кромкой 10 и кольцевого постоянного магни-

та 11 осевой намагниченности. Деформирующие шары 4 свободно установлены в кольцевой камере 3. Оправка 1, корпус 2, диск 5 изготовлены из немагнитопроводных материалов и установлены соосно. Кольцевой постоянный магнит 11 опирается на торцовую поверхность концентратора 9.



**Рисунок 1. – Конструкция инструмента для СМДН цилиндрических поверхностей с устройством улавливания ферромагнитных частиц**

Оправку 1 инструмента закрепляют в шпинделе, а ферромагнитную втулку 12 – в патроне станка. Совмещают оси оправки 1 и втулки 12. При этом кольцевую кромку 10 концентратора 9 и магнитопроводную шайбу 8 устанавливают к упрочняемой поверхности с соответствующими зазорами. Инструмент вращают и перемещают с подачей вдоль упрочняемой поверхности. Силовые линии магнитного поля от кольцевого постоянного магнита 11 замыкаются на поверхность втулки 12 по кольцевой кромке 10 концентратора 9. В результате возникающее в зазоре между упрочняемой поверхностью и кольцевой кромкой 10 концентратора 9 магнитное поле притягивает имеющиеся ферромагнитные частицы, не допуская их попадания в зону расположения деформирующих шаров 4. Вращающееся магнитное поле от цилиндрических постоянных магнитов воздействует одновременно на деформирующие шары 4, а посредством магнитопроводной шайбы 8 и на упрочняемую поверхность ферромагнитной втулки 12. При этом деформирующие шары 4 осуществляют динамическое поверхностное пластическое деформирование поверхности, предварительно очищенной от инородных металлических включений, что исключает ее шаржирование. Одновременно поверхностный слой втулки 12 упрочняется вращающимся магнитным полем. В результате СМДН обеспечиваются высокие качественные характеристики обработки [4].

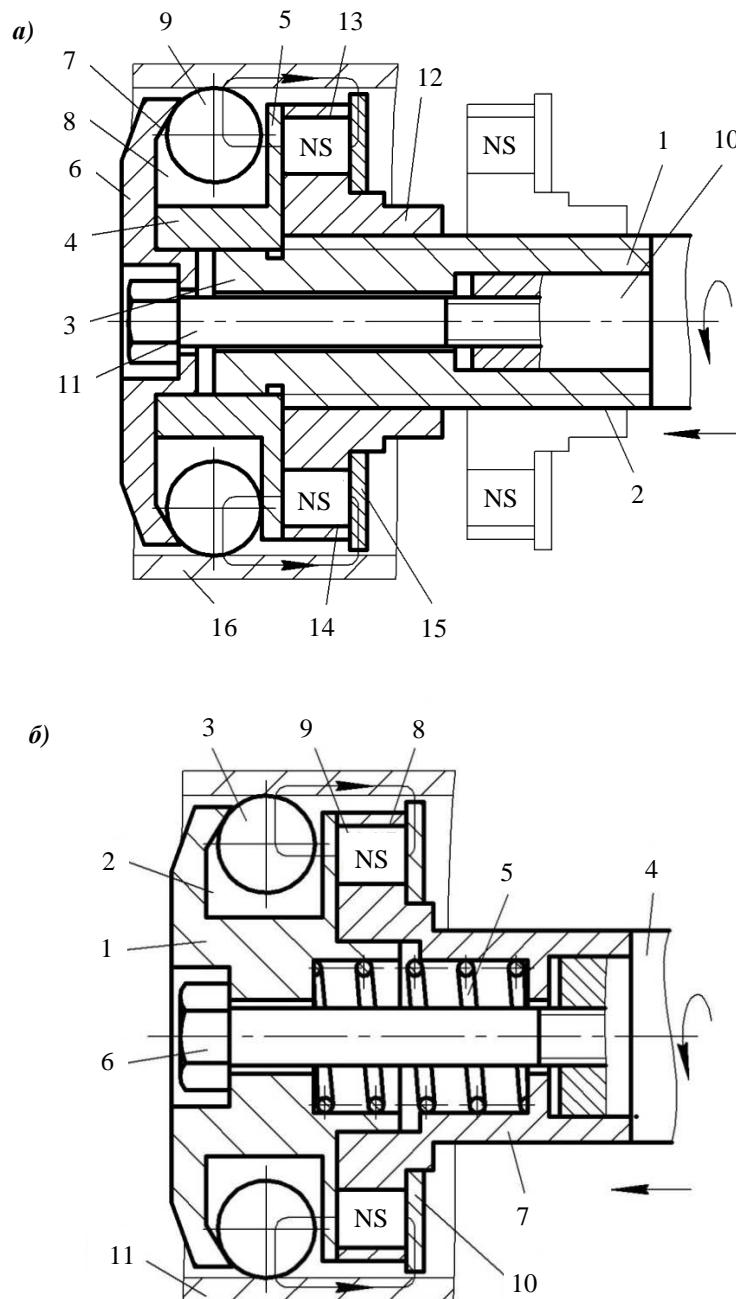
На рисунке 2 а, б изображены инструменты для СМДН поверхностей с подвижной магнитной системой, позволяющей осуществлять (по мере необходимости) качественную очистку кольцевой камеры от попадающих извне инородных ферромагнитных частиц.

В состав инструмента (рисунок 2, а) входят: цилиндрический корпус 1 с резьбовой наружной поверхностью 2 и шейкой 3; стакан 4 с тонкостенным фланцем 5; диск 6 с наклонной поверхностью 7; кольцевая камера 8; деформирующие шары 9; оправка 10; винт 11; магнитная система, включающая держатель 12 с аксиальными отверстиями 13, цилиндрические постоянные магниты 14 и магнитопроводную шайбу 15.

Цилиндрический корпус 1, стакан 4, диск 6, держатель 12 изготовлены из немагнитопроводных материалов и установлены соосно продольной оси оправки 10. В отверстии держателя 12 выполнена резьба, сопрягаемая с резьбой наружной поверхности 2 цилиндрического корпуса 1. Вследствие этого держатель 12 имеет возможность принудительного перемещения вдоль продольной оси инструмента.

Оправку 10 закрепляют в шпинделе, а упрочняемую ферромагнитную деталь 16 в виде тела вращения – в технологическом приспособлении станка и совмещают их продольные оси. Инструмент вращают и перемещают с подачей вдоль упрочняемой внутренней цилиндрической поверхности. Под действием вращающегося магнитного поля от цилиндрических постоянных магнитов 14 деформирующие шары 9

осуществляют динамическое деформирование поверхности детали 16, упрочняемой одновременно вращающимся магнитным полем, введенным в зону обработки магнитопроводной шайбой 15. Реализуемый при этом процесс СМДН поверхности обеспечивает высокие качественные характеристики обработки.



**а – с принудительным перемещением;  
б – с автоматическим перемещением за счет пружины**

**Рисунок 2. – Конструкции инструментов для СМДН  
с подвижной в осевом направлении магнитной системой**

После отделочно-упрочняющей обработки определенного количества деталей шпиндель станка останавливают и выводят инструмент в исходное положение. Принудительно вращают держатель 12 по резьбовой поверхности 2 корпуса 1, образуя при этом зазор между тонкостенным фланцем 5 и торцами цилиндрических постоянных магнитов 14, уменьшающий величину магнитного поля, действующего на деформирующие шары 9. При достижении зазора, исключающего воздействие магнитного поля на деформирующие шары 9, осевое перемещение держателя 12 прекращают. Струей воздуха (смазочно-

охлаждающей жидкости) под давлением очищают кольцевую камеру 8 и деформирующие шары 9 от попавших ферромагнитных частиц. Затем держатель 12 вращением перемещают в рабочее положение – до контакта цилиндрических постоянных магнитов 14 с фланцем 5 стакана 4 (рисунок 2, а).

Определенным недостатком описанного инструмента является увеличение вспомогательного времени, связанного с его обслуживанием. На рисунке 2, б изображен инструмент, обеспечивающий автоматическое перемещение магнитной системы инструмента и ее удаление от деформирующих шаров.

Инструмент включает: корпус 1; кольцевую камеру 2; деформирующие шары 3; оправку 4; пружину 5; винт 6; магнитную систему, состоящую из цилиндрической державки 7 с аксиальными отверстиями 8, цилиндрических постоянных магнитов 9, магнитопроводной шайбы 10. Корпус 1 и цилиндрическая державка 7 выполнены из немагнитопроводных материалов.

Принцип работы инструмента такой же, как и в предыдущем случае. Оправку 4 инструмента закрепляют в шпинделе, а ферромагнитный цилиндр 11 – в патроне станка. Инструмент вращают и перемещают с подачей вдоль упрочняемой поверхности. Деформирующие шары 3 инструмента (одновременно с вращающимся магнитным полем) осуществляют деформирование внутренней цилиндрической поверхности, обеспечивающее высокие качественные характеристики обработки.

При необходимости очистки кольцевой камеры 2 и деформирующих шаров 3 от инородных ферромагнитных частиц, шпиндель станка останавливают и выводят инструмент в начальное положение. Поворотом винта 6 включают пружину 5. Под действием осевой силы от пружины 5 магнитная система инструмента отводится от корпуса 1 (деформирующих шаров 3) на заданное расстояние. Кольцевую камеру 2 и деформирующие шары 3 промывают струей смазочно-охлаждающей жидкости под давлением, удаляя имеющиеся инородные ферромагнитные частицы. Винт 6 зажимают и возвращают магнитную систему в рабочее положение. При этом вспомогательное время на обслуживание инструмента сокращается.

На рисунке 3 показан инструмент для СМДН внутренней цилиндрической поверхности, повышающий эффективность процесса упрочнения за счет обеспечения синхронизации вращения деформирующих шаров и магнитной системы.

В состав инструмента входят: цилиндрический корпус 1 с центральными отверстиями 2, 3; насадка 4; кольцевая камера 5; деформирующие шары 6; ротор 7 с радиальными отверстиями 8 и цилиндрическими постоянными магнитами 9; подшипники 10, 11; муфта 12; электродвигатель 13.

Инструмент снабжен дополнительной магнитной системой, предназначенной для намагничивания деформирующих шаров 6 и поверхности ферромагнитной упрочняемой детали, выполненной в виде обоймы 14 с аксиальными отверстиями 15, постоянных цилиндрических магнитов 16, кольцевого магнитопровода 17, защитной прокладки 18.

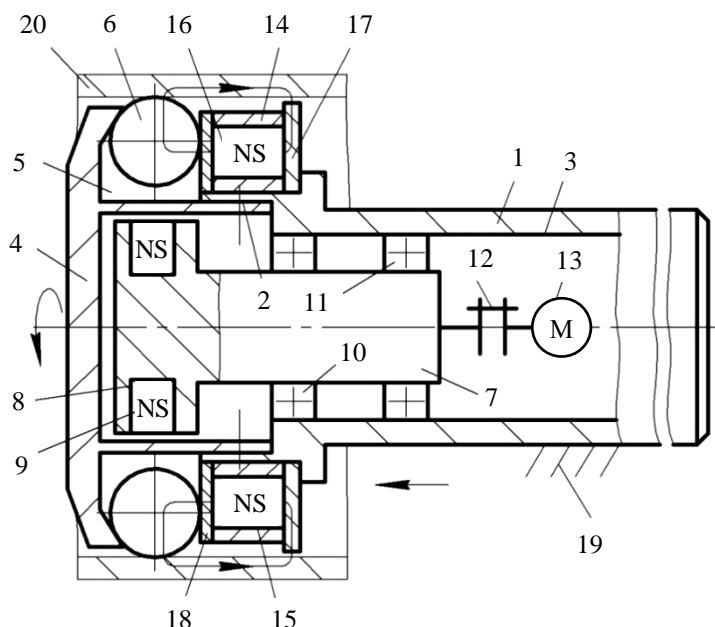


Рисунок 3. – Конструкция инструмента для СМДН с дополнительным намагничиванием деформирующих шаров

Цилиндрический корпус 1, ротор 7, обойма 14, защитная прокладка 18 изготовлены из немагнитопроводных материалов, а насадка 4, как правило, из пластмассы.

Ротор 7 посредством подшипников 10, 11 установлен в центральном отверстии 3 цилиндрического корпуса 1. Насадка 4 цилиндрической поверхностью установлена в центральном отверстии 2 корпуса 1 соосно с ротором 7. Деформирующие шары 6 свободно расположены в кольцевой камере 5 и находятся в магнитном поле, создаваемом цилиндрическими постоянными магнитами 16.

Совмещенную упрочняющую обработку осуществляют следующим образом. Цилиндрический корпус 1 инструмента закрепляют в резцедержателе 19, а ферромагнитный цилиндр 20 – в патроне станка. При этом обеспечивают соосность внутренней поверхности цилиндра 20 и продольной оси ротора 7. Инструмент перемещают с осевой подачей, а ротору 7 с цилиндрическими постоянными магнитами 9 сообщают вращение. Цилиндрические постоянные магниты 9 воздействуют магнитным полем на деформирующие шары 6, осуществляя их вращение вокруг продольной оси инструмента. При этом деформирующие шары 6 осуществляют динамическое поверхностное пластическое деформирование.

Так как деформирующие шары 6 предварительно намагничены цилиндрическими постоянными магнитами 16, то имеет место «активная» схема передачи вращения (от ротора 7 – к деформирующим шарам 6), обусловленная взаимодействием между собой магнитных полей, создаваемых цилиндрическими постоянными магнитами 9 и 16.

В результате деформирующие шары 6 и магнитная система ротора 7 вращаются синхронно. Отсутствие «проскальзывания» деформирующих шаров 6 относительно ротора 7 обеспечивает повышение скорости вращения последних, а следовательно, приводит к повышению эффективности процесса динамического поверхностного пластического деформирования упрочняемого цилиндра 20.

Одновременно с динамическим деформированием на поверхностный слой ферромагнитного цилиндра 20 действует магнитное поле, создаваемое цилиндрическими постоянными магнитами 16 (силовые линии магнитного поля показаны на рисунке 3 тонкой линией). Совмещенное упрочнение обеспечивает высокие качественные характеристики обработки.

Особенностью инструмента, изображенного на рисунке 3, является то, что при выходе инструмента из зоны обработки деформирующие шары расходятся в радиальном направлении и динамическим воздействием развальцовывают рабочую коническую поверхность кольцевой камеры. Это снижает долговечность инструмента.

На рисунке 4 представлен инструмент для СМДН, кольцевая камера которого не имеет рабочей конической поверхности. В связи с этим долговечность рабочих поверхностей кольцевой камеры инструмента достаточно высока.

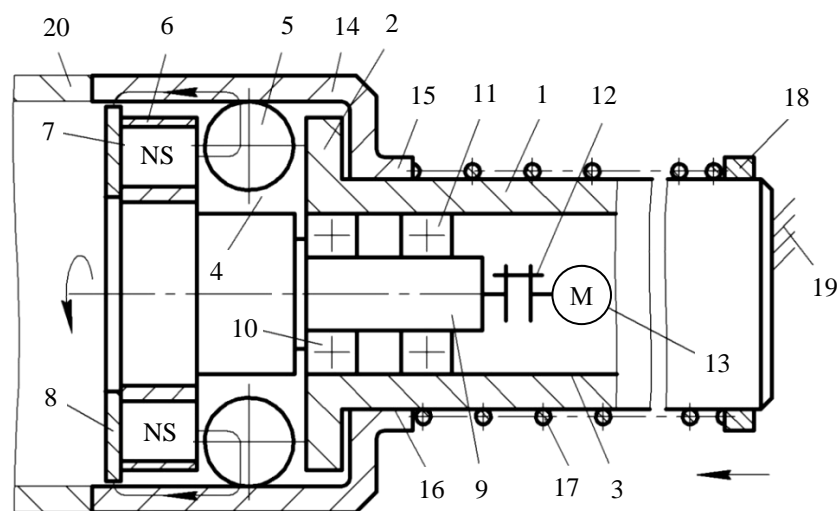


Рисунок 4. – Конструкция инструмента для СМДН с цилиндрической кольцевой камерой и защитным кожухом

Инструмент включает: цилиндрический корпус 1 с фланцем 2 и центральным отверстием 3; цилиндрическую кольцевую камеру 4; деформирующие шары 5; магнитную систему, состоящую из обоймы 6, цилиндрических постоянных магнитов 7, магнитопровода 8; устройство вращения магнитной системы, в состав которого входят ступенчатый ротор 9, подшипники 10, 11, муфта 12 и электродвигатель 13. Инструмент снабжен цилиндрическим кожухом 14 со ступицей 15 и отверстием 16, пружиной 17, буртиком 18. Кожух 14 отверстием 16 охватывает цилиндрический корпус 1 и имеет возможность принуди-

тельного осевого перемещения. Пружина 17 взаимодействует торцами со ступицей 15 кожуха 14 и буртиком 18. Обойма 6 и магнитопровод 8 закреплены соосно на ступенчатом роторе 9. Цилиндрический корпус 1, обойма 6, ступенчатый ротор 9 выполнены из немагнитопроводного материала. В исходном состоянии цилиндрический кожух 14 находится в крайнем левом положении, охватывая магнитную систему и кольцевую камеру 4 с деформирующими шарами 5.

В начале обработки цилиндрический корпус 1 закрепляют в державке резцедержателя 19, а ферромагнитное упрочняемое кольцо 20 – в кондукторе станка, обеспечивая их соосность. Ступенчатому ротору 9 от электродвигателя 13 сообщают вращение, а инструмент перемещают с осевой подачей.

Вращающаяся магнитная система обеспечивает одновременное упрочнение поверхностного слоя ферромагнитного кольца 20 вращающимся магнитным полем и магнитно-динамическим накатыванием, при котором деформирующие шары 5 колеблются и осуществляют динамическое воздействие на упрочняемую поверхность. Это приводит к повышению качественных характеристик обработки.

Данный инструмент для СМДН имеет высокую долговечность, что исключает износ ее рабочих поверхностей.

Конструкции инструментов для СМДН, изображенных на рисунках 1–4, не предусматривают регулировку ширины кольцевой камеры, в которой свободно размещены деформирующие шары. В связи с этим требуется высокая размерная и геометрическая точность изготовления деталей инструмента, определяющих осевые размеры кольцевой камеры.

Этого недостатка лишена конструкция инструмента, представленная на рисунке 5, обеспечивающая возможность точного регулирования ширины кольцевой камеры.

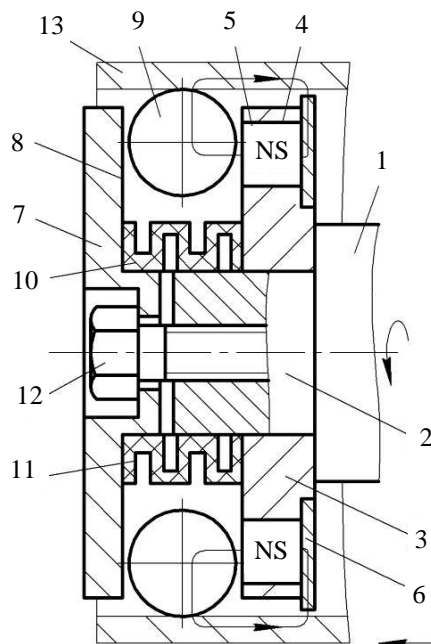


Рисунок 5. – Конструкция инструмента для СМДН с регулируемой по ширине кольцевой камерой

Инструмент состоит из следующих деталей: оправки 1 с шейкой 2; диска 3 с аксиальными отверстиями 4; цилиндрических постоянных магнитов 5; магнитопроводной шайбы 6; крышки 7 с торцевой поверхностью 8; деформирующих шаров 9; упругой втулки 10 с окнами 11, выполненными в шахматном порядке; силового винта 12.

Упрочняющую обработку осуществляют следующим образом. Оправку 1 закрепляют в шпинделе станка, а ферромагнитную деталь 13 – в патроне станка. Ось инструмента совмещают с осью детали 13 и вводят деформирующие шары 9 инструмента в обрабатываемое отверстие. Инструмент вращают и перемещают с осевой подачей вдоль упрочняемой поверхности. Вращающееся магнитное поле от цилиндрических постоянных магнитов 5 позволяет обеспечить СМДН, при котором одновременно осуществляется упрочнение поверхности детали 13 деформирующими шарами 9 и магнитным полем. Качественные характеристики обработки вследствие этого существенно повышаются.

При изменении ширины кольцевой камеры инструмента (для компенсации величины износа ее рабочих поверхностей) вновь регулируют величину зазора между поверхностью 8 крышки 7 и дефор-



мирующим шаром 9, осуществляя соответствующий поворот силового винта 12 на требуемую величину. В результате срок эксплуатации инструмента увеличивается. Кроме того, в процессе обработки обеспечивается стабилизация положения геометрических центров вращающихся в кольцевой камере деформирующих шаров 9, что положительно сказывается на качественных характеристиках упрочненного слоя.

**Заключение.** В работе представлены усовершенствованные конструкции инструментов для совмещенного магнитно-динамического накатывания, позволяющие повысить качественные характеристики обработанной поверхности, эффективность процесса совмещенного упрочнения и увеличить срок эксплуатации инструментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Минаков, А.П. Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А.П. Минаков, А.А. Бунос ; под общ. ред. П.И. Ящерицина. – Минск : Наука и техника, 1995. – 304 с.
2. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : пат. RU 2068770 / А.М. Довгалева. – Опубл. 10.11.1996.
3. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления : пат. RU 2089373 / А.М. Довгалева. – Опубл. 10.09.1997.
4. Довгалева, А.М. Магнитно-динамическое и совмещенное накатывание поверхностей нежестких деталей / А.М. Довгалева. – Могилев : Белорусско-Российский ун-т, 2017. – 266 с.

Поступила 29.11.2017

#### PROGRESSIVE STRUCTURES OF INSTRUMENTS FOR THE COMBINED MAGNETIC-DYNAMIC STICKING OF CYLINDRICAL SURFACES

A. DOVGALEV, I. TARADEIKO, N. LEVANOVICH

*Advanced design tools for combined magnetic-dynamic rolling of internal and external cylindrical surfaces of machine parts on machines of drilling-milling-boring and turning groups containing a compact magnetic system based on permanent cylindrical magnets are presented. In particular, the construction of tools that allow to remove ferromagnetic particles from the surface of the parts being processed, carry out (as necessary) cleaning of the annular chamber and deforming balls from ferromagnetic particles, synchronize the rotational speeds of the deforming balls and the magnetic system, and minimize wear on the end faces of the annular chamber are proposed. As a result of the improvement of tools, the quality characteristics of the treated surface are increased, the hardening process is effective, and the service life is extended.*

**Keywords:** combined rolling; magnetic system; deforming balls; hardening; rotating magnetic field; modification of the surface layer.